

Etude de la relation génétique entre la prolificité et la production laitière en ovins laitiers

M. BAELDEN (1), J.M. ASTRUC (2), J.P. POIVEY (3), C. ROBERT-GRANIE (1), L. BODIN (1), J. BOUIX (1), F. BARILLET (1)

(1) INRA, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, BP 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

(2) Institut de l'Élevage, INRA SAGA, BP 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

(3) CIRAD, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier

RESUME - Près de 20 % du revenu des éleveurs d'ovins laitiers en France provient de la vente des agneaux de lait. La prolificité des brebis laitières est donc une composante importante de la productivité de ces cheptels. Cette situation soulève différentes interrogations relatives à la relation génétique entre la prolificité et la production laitière et à l'intérêt d'introduire ou non la prolificité dans le critère global de sélection, sachant que l'objectif génétique affiché est le maintien du niveau génétique actuel de la prolificité des dites races de brebis laitières.

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une étude en races Lacaune et Manech Tête Rousse sur les données collectées dans le cadre du contrôle laitier officiel de 2000 à 2004 pour les premières mises bas et toutes les mises bas. Tout d'abord, nous avons étudié les facteurs de variation de la taille de portée et, plus particulièrement, le mode de reproduction (naturel ou induit) qui est la cause majeure de variation. Dans un premier temps, nous avons considéré les prolificités exprimées après *oestrus* induit ou après *oestrus* naturel comme deux caractères *a priori* différents. L'estimation des paramètres génétiques montre que ces deux caractères sont très faiblement héritables (de 0,04 à 0,08 en Lacaune et de 0,02 à 0,07 en Manech Tête Rousse) et sont fortement corrélés entre eux : la corrélation génétique entre prolificité induite et prolificité naturelle est estimée à 0,75 et 0,47 en Lacaune et à 0,99 et 0,88 en Manech Tête Rousse, respectivement en premières mises bas ou sur toutes les mises bas.

Nous avons ensuite estimé la relation génétique entre la production laitière et les prolificités induite et naturelle. Les estimées indiquent que la production laitière et les deux expressions de la prolificité sont très faiblement corrélées. En conséquence, la sélection laitière stricte ou la prise en compte de la prolificité, avec son poids économique réel, dans l'objectif global de sélection fournissent une tendance comparable : maintien de la prolificité, conformément à l'objectif visé pour ce caractère. La mise en place d'une évaluation génétique de la prolificité (après *oestrus* induit et/ou naturel) permettrait d'éviter le choix de mâles élités très détériorateurs sur la prolificité sans toutefois inclure ce caractère dans l'index global de sélection. Cela permettrait ainsi de se prémunir contre tout risque de dérive génétique pour des schémas de sélection tels que ceux des races Lacaune (lait) ou Manech Tête Rousse reposant respectivement sur quelque 40 et 20 béliers élités.

Study of the genetic relation between milk yield and litter size in dairy sheep

M. BAELDEN (1), J.M. ASTRUC (2), J.P. POIVEY (3), C. ROBERT-GRANIE (1), L. BODIN (1), J. BOUIX (1), F. BARILLET (1)

(1) INRA, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, BP 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

SUMMARY - About 20 % of the income of French dairy sheep-breeders comes from the sale of dairy lambs. Prolificacy of dairy ewes is one of the main components of profitability of these farms. This situation raises different questions: what is the genetic relation between prolificacy and milk yield? Is there a need to include prolificacy in the total merit index, knowing that the breeding goal for prolificacy is the maintain of the average genetic level of the given French dairy sheep populations?

In order to answer these questions, we studied data from the French National performance recording database for first lambing and other lambings on Lacaune and Red Faced Manech breeds. First, we studied the variation factors of prolificacy and, specially, the type of reproduction (natural or induced *oestrus*), which is the major account of variation. First of all, we considered prolificacy after natural *oestrus* and prolificacy after induced *oestrus* like two different traits. The estimation of genetic parameters shows that these two traits had small heritabilities (from 0.04 to 0.08 in Lacaune and from 0.02 to 0.07 in Red Faced Manech) and were strongly correlated: the estimated genetic correlation between induced prolificacy and natural prolificacy were 0.75 and 0.47 in Lacaune and 0.99 and 0.88 in Red Faced Manech, respectively in first lambings or for all lambings.

Afterwards, we estimated the genetic relation between milk yield and induced and natural prolificacy. The estimates underlined that milk yield and the two expressions of prolificacy were strongly correlated. As a consequence, a selection on a total merit index based on milk traits, including or not the prolificacy with its relevant economic weight, led to the same trend: stability of prolificacy, which is the goal for this reproduction trait in French dairy sheep populations. Nevertheless, implementation of a breeding value estimation of prolificacy (after induced or natural *oestrus*) would allow avoiding the choice of elite rams which would deteriorate prolificacy, without including this trait in the global breeding values. That would allow preventing genetic drifts for selection schemes like those of Lacaune (milk) or Red Faced Manech based respectively on 40 and 20 elite rams.

INTRODUCTION

En France, dans les élevages ovins laitiers, près de 20 % du revenu correspond à la vente des agneaux de lait. La prolificité des brebis laitières (rapport du nombre d'agneaux nés vivants ou morts sur le nombre de mises bas) est donc une composante importante de la productivité de ces cheptels. De plus, l'utilisation de traitements hormonaux de

synchronisation de l'*œstrus*, généralement associés à l'insémination artificielle, entraîne une augmentation de 15 à 30 % de la prolificité et de sa variance. Or l'insémination artificielle est très répandue en ovins laitiers : plus de 80 % des brebis Lacaune et près de 50 % des brebis Manech Tête Rousse en contrôle laitier officiel sont inséminées.

L'analyse génétique de la prolificité doit donc tenir compte du mode de reproduction associé. Cette situation soulève différentes interrogations : Quelle est la relation génétique entre les prolificités sur *oestrus* induit, sur *oestrus* naturel et sur retour d'*oestrus* induit ? Quelle est la relation génétique entre la prolificité et les caractères laitiers ? Doit-on prendre en compte la prolificité dans l'objectif global de sélection ? Cette option devrait être envisagée en cas de dégradation de la prolificité sous l'effet de la sélection laitière, alors que l'objectif de sélection pour la prolificité des populations de brebis laitières françaises est le maintien du niveau génétique moyen actuel. Pour répondre à ces questions, nous avons mené une étude sur deux races ayant des caractéristiques différentes (tableau 1) : Lacaune (LAC) et Manech Tête Rousse (MTR).

Tableau 1 : caractéristiques des races étudiées (Statistiques du contrôle laitier ovin, campagne 2004)

	LAC	MTR
Population totale	825 000	270 000
Nombre de femelles en contrôle laitier officiel	177 506	71 475
Nombre de troupeaux contrôlés	400	241
Prolificité après 1 ^{re} mise-bas à 1 an	1,19	1,10
<i>oestrus</i> naturel 1 ^{re} mise-bas à 2 ans	1,38	1,20
2 ^e mise-bas et plus	1,47	1,26
Prolificité après 1 ^{re} mise-bas à 1 an	1,46	1,27
<i>oestrus</i> induit 1 ^{re} mise-bas à 2 ans	1,72	1,48
2 ^e mise-bas et plus	1,67	1,47
% de mises bas après <i>oestrus</i> induit	67 %	42 %
Durée de traite (j)	160	150
Production laitière moyenne (l)	282,8	165,7

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DONNEES ANALYSEES

L'étude a porté sur les données collectées en race Lacaune et Manech Tête Rousse dans le cadre du contrôle laitier officiel, de 2000 à 2004, d'une part pour les premières mises bas, d'autre part pour les cinq premières mises bas sous réserve que la première soit enregistrée dans cette période (tableau 2). Afin d'étudier le principal facteur de variation de la taille de portée, le mode de reproduction, nous avons considéré les prolificités exprimées après *oestrus* induit (PROL_{OI}) ou après *oestrus* naturel (PROL_{ON}) comme deux caractères a priori différents. La prolificité sur *oestrus* naturel inclut principalement la prolificité des brebis non inséminées et aussi la prolificité observée lors du retour en chaleur après traitement hormonal pour les brebis non fécondées à l'insémination artificielle. En effet, bien que l'insémination artificielle (IA) soit développée, la fertilité sur IA étant forte, les données disponibles sur 5 ans pour la prolificité après retour sont en effectifs limités

comparativement à celles des brebis non inséminées, qui représentent donc l'essentiel des résultats de prolificité sur *oestrus* naturel. Lors d'une étude préliminaire sur un fichier incluant des données collectées pendant près de 20 ans (effectifs suffisants), nous avons pu constater que les variances (résiduelle, père et environnement permanent) de la prolificité naturelle et de la prolificité après retour sont du même ordre de grandeur. Nous avons donc décidé de regrouper la prolificité après *oestrus* naturel et celle après retour pour la présente étude des relations entre la prolificité et la production laitière. Pour des raisons de temps de calcul, seuls des échantillons basés sur le contrôle de la structure généalogique des demi-sœurs de père ont été analysés pour chaque race. Ces échantillons contiennent les performances de familles d'au moins 20 demi-sœurs de père et ont été construits pour chaque mode de reproduction. La taille des échantillons concernant la prolificité sur *oestrus* naturel est semblable à celle sur *oestrus* induit en MTR, alors qu'elle est beaucoup plus réduite en LAC du fait de la pratique plus importante de la synchronisation (tableau 2) et de la meilleure fertilité à l'IA.

1.2. MODELES

Les modèles de l'analyse comprennent des facteurs de corrections identiques pour la prolificité naturelle et la prolificité induite. Ils prennent en compte des effets aléatoires (génétiques et non génétiques : environnement permanent) et des effets fixes (interaction troupeau*année*rang de mise-bas, âge de la brebis, rythme d'agnelage, mois de mise-bas). Le modèle de description de la production laitière (LAIT) est celui utilisé pour l'indexation en ce qui concerne les effets fixes (interaction troupeau*année*numéro de lactation, âge de la brebis, mois de mise-bas et intervalle mise-bas-1^{re} contrôle quantitatif, ces trois effets étant exprimés intra-campagne et numéro de lactation). Les analyses ont été réalisées selon un modèle père, en distinguant les descendance des pères en testage (effets aléatoires avec au moins 20 filles par père) et celles des pères de service (effets fixes avec au moins 200 filles par père). Les estimations ont été établies par la méthode du maximum de vraisemblance restreint grâce au logiciel VCE5 (Kovac et Grøneveld, 2003).

2. RESULTATS

2.1. PROLIFICITE

2.1.1. Présentation

Les moyennes et écarts-types des prolificités après *oestrus* induit ou naturel pour toutes les mises bas sont présentées dans le tableau 3 (page suivante, milieu de 1^{ère} colonne, après le tableau 4).

Tableau 2 : structure des échantillons analysés

	Race	LACAUNE (LAC)		Nombre de pères	MANECH TETE ROUSSE (MTR)		
		Caractère	Nombre de mises bas	Nombre de brebis	Nombre de mises bas	Nombre de brebis	Nombre de pères
1 ^{ères} mises bas	PROL _{OI}		98 936 (73 %)	98 936	15 311 (47 %)	15 311	590
	PROL _{ON}		36 655 (27 %)	36 655	16 987 (53 %)	16 987	
	LAIT		135 591 (100%)	135 591	32 298 (100%)	32 298	
toutes mises bas	PROL _{OI}		218 503 (67 %)		34 533 (42 %)		595
	PROL _{ON}		110 061 (33 %)	136 983	47 110 (58 %)	32 852	
	LAIT		328 564 (100%)		81 643 (100%)		

Tableau 4 : paramètres génétiques de la prolificité après *oestrus* induit ou naturel et de la production laitière

	LAC			MTR		
	PROL _{OI}	PROL _{ON}	LAIT	PROL _{OI}	PROL _{ON}	LAIT
pour les premières mise-bas						
PROL _{OI}	0,06 ± 0,005	0,75 ± 0,06	0,11 ± 0,04	0,02 ± 0,006	0,99 ± 0,02	-0,08 ± 0,09
PROL _{ON}	0,00 ± 0,001	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,05	0,00 ± 0,001	0,07 ± 0,01	-0,15 ± 0,08
LAIT	-0,65 ± 0,001	0,25 ± 0,001	0,26 ± 0,01	-0,17 ± 0,002	0,23 ± 0,001	0,26 ± 0,02
pour toutes les mises bas						
PROL _{OI}	0,04 ± 0,003 0,06 ± 0,01	0,47 ± 0,05	-0,01 ± 0,04	0,03 ± 0,005 0,04 ± 0,006	0,88 ± 0,09	-0,20 ± 0,03
PROL _{ON}	0,00 ± 0,001	0,08 ± 0,004 0,09 ± 0,004	0,00 ± 0,05	0,01 ± 0,001	0,06 ± 0,006 0,08 ± 0,005	-0,15 ± 0,02
LAIT	-0,15 ± 0,001	0,55 ± 0,002	0,25 ± 0,008 0,54 ± 0,004	-0,70 ± 0,001	-0,30 ± 0,001	0,23 ± 0,01 0,52 ± 0,01

diagonale : **héritabilités** / répétabilités, au-dessus de la diagonale : corrélations génétiques, en dessous de la diagonale : corrélations phénotypiques

Pour les deux races, la prolificité sur *oestrus* induit est supérieure de près de 17 % à celle après *oestrus* naturel. La prolificité induite est aussi plus variable que la prolificité naturelle : son écart-type est supérieur de près de 30 % par rapport à celui de la prolificité naturelle, avec des coefficients de variations semblables du fait de l'augmentation moyenne de prolificité après *oestrus* induit : coefficient de variation de 39 % pour la prolificité induite et 37 % pour la naturelle en LAC ; 35 % et 31 % respectivement en MTR).

Tableau 3 : tailles de portée après *oestrus* induit ou naturel : moyennes et écarts types de l'échantillon "toutes mises bas" du tableau 2

	PROL _{OI}	PROL _{ON}
LAC	1,52 ± 0,59	1,30 ± 0,48
MTR	1,33 ± 0,47	1,14 ± 0,35

2.1.2. Paramètres génétiques de la prolificité

Que l'on analyse toutes les mises bas ou uniquement les premières mises bas, la prolificité est faiblement héritable pour les deux races, et ceci quel que soit le mode de reproduction (tableau 4). L'héritabilité de la prolificité naturelle est supérieure à celle de la prolificité induite : 0,08 > 0,06 et 0,07 > 0,02, respectivement en LAC et MTR pour les premières mises bas ; 0,08 > 0,04 et 0,06 > 0,03, respectivement en LAC et MTR pour toutes les mises bas. Les héritabilités de la prolificité en LAC sont légèrement supérieures à celles trouvées en MTR, plus particulièrement pour la prolificité après *oestrus* induit.

Les prolificités après *oestrus* induit et après *oestrus* naturel sont très fortement corrélées. Les corrélations génétiques entre prolificités induite et naturelle à la première mise-bas sont supérieures à celles sur l'ensemble des mises bas ($r_{\text{PROL}_{OI}/\text{PROL}_{ON}} = 0,75$ en premières mises bas en LAC contre 0,47 pour toutes les mises bas). Les corrélations génétiques entre prolificités induite et naturelle trouvées en MTR sont supérieures à celles trouvées en LAC ($r_{\text{PROL}_{OI}/\text{PROL}_{ON}} = 0,99$ pour les premières mises bas en MTR contre 0,75 en LAC).

2.2. PRODUCTION LAITIÈRE

L'héritabilité de la production laitière est comparable en première mise-bas et sur l'ensemble des mises bas pour les deux races, de l'ordre de 0,25, avec une tendance classique à des estimées un peu plus élevées en première lactation (0,26 et 0,26) que sur l'ensemble des mises bas (0,25 et 0,23, respectivement en LAC et MTR).

2.3. RELATION PROLIFICITE / PRODUCTION LAITIÈRE

Quelle que soit la race, les corrélations génétiques entre la production laitière et la prolificité oscillent entre -0,20 et +0,11 avec des erreurs-standards variant de 0,02 à 0,09 : autrement dit, les relations génétiques entre la prolificité et la production laitière sont proches de zéro. Les signes, positifs ou négatifs, sont à prendre avec précaution : les estimations sont peu précises (erreur standard de l'ordre de 0,10) car les héritabilités de la prolificité sont très faibles.

2.4. IMPACT D'UNE SÉLECTION SUR LA PROLIFICITE

Pour chaque race, nous avons estimé les gains génétiques asymptotiques espérés en 10 ans en fonction des pondérations (en unités d'écart-type génétique de valeur 1) appliquées à la production laitière et aux prolificités induite et naturelle dans le cadre d'un schéma de sélection en régime de croisière (tableau 5). Les évolutions génétiques de prolificité obtenues sur 10 ans sont très faibles que l'on sélectionne ou non ce caractère, en utilisant des pondérations réalistes au plan économique (inférieures ou égales à 0,3 écart-type génétique). Elles varient de -0,017 à -0,001 et de -0,033 à -0,013 en MTR, respectivement pour la prolificité induite et naturelle et de +0,075 à +0,108 et de +0,036 à +0,067 pour les prolificités induite et naturelle en LAC. Si on veut obtenir des gains substantiels pour la prolificité, il faut envisager des pondérations irréalistes au plan économique (poids pour la prolificité égaux ou infinis par rapport au poids sur la production laitière) : on peut alors envisager, sur dix ans, des gains génétiques de 0,052 à 0,243 agneaux/ brebis selon la race et la pondération, avec une détérioration du progrès laitier inacceptable de 20 à 100 %.

Tableau 5 : gains génétiques asymptotiques en 10 ans selon la stratégie de sélection retenue (pondérations appliquées aux caractères) pour la prolificité induite, la prolificité naturelle et la production laitière en premières mises bas

Pondérations en unités d'écart-type génétique de valeur 1			Gains génétiques asymptotiques en 10 ans					
LAIT	LAC		LAC			MTR		
	PROL _{OI}	PROL _{ON}	PROL _{OI}	PROL _{ON}	LAIT (I)	PROL _{OI}	PROL _{ON}	LAIT (I)
1	0	0	0,075	0,036	77	-0,017	-0,033	49
1	0,1	0,1	0,108	0,067	77	-0,001	-0,013	49
1	0,3	0,3	0,157	0,113	72	0,029	0,026	44
1	0,5	0,5	0,189	0,144	65	0,052	0,058	36
0	0,5	0,5	0,243	0,210	19	0,096	0,125	-11

3. DISCUSSION

Le premier objectif de cette étude était d'évaluer les relations entre la prolificité induite, la prolificité sur retour et la prolificité naturelle. La forte similitude entre ces deux derniers caractères nous a amenés à les regrouper (analyse préliminaire non présentée ici). Nous avons été confortés dans cette démarche par le fait que l'évaluation génétique des reproducteurs ovins allaitants pour la prolificité repose sur les paramètres génétiques de la prolificité après *oestrus* naturel (incluant la prolificité après retour) et ceux de la prolificité après *oestrus* induit (Baelden, 2005).

Les héritabilités estimées en *oestrus* naturel pour toutes les mises bas s'accordent avec les résultats des études récentes. En races allaitantes, Lee *et al.*, (2000) trouvent une héritabilité de 0,05 en Rambouillet, Altarriba *et al.*, (1998) une héritabilité de 0,08 en Rasa Aragonesa. Matos *et al.* (1997) estiment une héritabilité plus forte en Rambouillet (0,16) et en race Finnoise (0,08). La dernière estimation de l'héritabilité (0,03) de la prolificité induite en brebis laitières françaises remonte à l'étude de Barillet *et al.*, (1988) sur des premières mises bas Lacaune et est comparable aux résultats actuels (0,06 LAC et 0,02 MTR).

Avec des corrélations génétiques proches de +0,80, la prolificité naturelle et la prolificité induite sont deux caractères fortement corrélés, quel que soit le rang de mise-bas, pour les deux races étudiées. Ce résultat est différent de celui trouvé par Bodin (1979) sur des agnelles Lacaune Lait (corrélation génétique de +0,40), mais il concorde avec les études récentes menées en ovins allaitants (+0,75 : Baelden, 2005). Avec une corrélation génétique de +0,80, la prolificité naturelle et la prolificité après *oestrus* induit peuvent être considérées comme deux caractères contrôlés par un grand nombre de gènes communs. Même si cette corrélation est forte, les variances des deux caractères étant différentes, les analyses ne pourraient pas être réalisées grâce à un modèle univariable prenant en compte un effet fixe "absence ou présence d'un traitement hormonal".

Le deuxième objectif de cette étude était d'estimer la corrélation génétique entre la production laitière (caractère sélectionné) et la prolificité (caractère actuellement non sélectionné). Les estimations obtenues sont peu précises et il est même difficile de préciser le signe réel, négatif ou positif, de cette relation. Ainsi, il apparaît que la corrélation génétique entre la production laitière et la prolificité est très proche de zéro et faiblement positive (LAC) ou négative (MTR). Ceci concorde avec les résultats de Kominakis *et al.*, (1998) en race Boutsico (+0,13), de Lidga *et al.*, (2000) sur des brebis Chios (+0,03), de Hamann *et al.*, (2004) sur des brebis de race Frisonne (+0,04) et de Barillet *et al.*, (1988) sur les premières mises bas de brebis Lacaune (+0,16). Les prolificités induite et naturelle présentent des variances (génétique et non génétique) très différentes. La prise en compte de ces différences à l'aide d'un modèle hétéroscédastique (Robert-Granié *et al.*, 1999) permettrait une meilleure estimation des paramètres génétiques de la prolificité mais aussi de la corrélation génétique entre la prolificité et la production laitière. De même, les analyses ont été réalisées en modèle linéaire ; l'utilisation d'un modèle à seuil pourrait permettre aussi d'améliorer ces estimations.

Le troisième objectif de cette étude était d'apprécier la pertinence de la prise en compte de la prolificité dans l'objectif global de sélection. Les résultats présentés dans le tableau 5 montrent que pour obtenir un gain génétique

substantiel sur la prolificité, il faudrait appliquer à la taille de portée des poids aberrants sans commune mesure avec son importance économique réelle (environ 20 % du revenu du système). La prise en compte de la prolificité avec son poids économique réel dans un index global de sélection ne permet pas une sélection efficace de ce caractère, ce qui n'est pas antagoniste de l'objectif visé à l'échelle de la population et qui correspond au maintien de la prolificité de chaque race. Cependant, si certains éleveurs souhaitent une augmentation phénotypique de la prolificité, il est possible d'agir avec efficacité sur la conduite en augmentant l'utilisation des traitements hormonaux (avec ou sans insémination) dans ces élevages. Cette conclusion est conforme à celle proposée en 1988 par Barillet *et al.* Elle est par ailleurs d'autant plus d'actualité que la tendance actuelle est à l'intégration de plusieurs caractères fonctionnels dans l'objectif global de sélection des ovins laitiers (comptages de cellules somatiques dans le lait, morphologie mammaire).

CONCLUSION

L'étude de la relation génétique entre la prolificité et la production laitière présentée dans cet article est une première étape dans l'analyse des relations génétiques entre la prolificité et les caractères laitiers. En effet, la sélection laitière repose aujourd'hui sur les quantités de matières et les taux butyreux et protéique du lait et pas directement sur la quantité de lait (très fortement corrélée, environ 0,9, avec les quantités de matières). Pour terminer cette étude, il faudra donc considérer ces quatre autres caractères laitiers.

Au vu des résultats obtenus, intégrer la prolificité dans l'objectif global de sélection ne semble pas pertinent, au moment où, par ailleurs, on privilégie l'introduction des caractères d'aptitudes fonctionnelles intéressant la sphère mammaire, que l'on cherche à améliorer génétiquement, tandis que l'objectif génétique pour la prolificité demeure le maintien de son niveau moyen. Cependant, les informations disponibles rendent possible la mise en place d'une indexation de la prolificité (après *oestrus* naturel et/ou induit) en ovins laitiers, afin d'éviter le choix de mâles élités très détériorateurs sur la prolificité. Cela permettrait de se prémunir contre tout risque de dérive génétique pour des schémas de sélection tels que ceux des races Lacaune (lait) ou Manech Tête Rousse reposant respectivement sur quelque 40 et 20 béliers élités.

Altarriba J., Varona L., Garcia-Cortés A., Moreno C., 1998. *J. Anim. Sci.*, 76, 23-28

Baelden M., Tiphine L., Poivey J.P., Bouix J., Bibé B., Robert-Granié C., Bodin L., 2005. *Livest. Prod. Sci.*, à paraître.

Barillet F., Elsen J.M., Roussely M., Belloc J.P., Briois M., Casu S., Carta R., Poivey J.P., 1988. 3^e congrès mondial de reproduction et sélection des ovins et bovins à viande, 469-490

Bodin L., 1979. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 11(4), 413-424

Hamann H., Horstlick A., Wessels A., Distl O., 2004. *Livest. Prod. Sci.*, 87, 153-160

Kominakis A., Rogdakis E., Koutsotolis K., 1998. *Can. J. Anim. Sci.*, 78, 525-532

Kovac M., Grøneveld E., 2003. *VCE-5 User's Guide and Reference Manual*

Lee J.W., Waldron D.F., Van Vleck L.D., 2000. *J. Anim. Sci.*, 78, 2086-2090

Lidga Ch., Gabriilidis G., Papadopoulos Th., Georgoudis A., 2000. *Livest. Prod. Sci.*, 66, 217-221

Matos C.A.P., Thomas D.L., Gianola D., Tempelman R.J., Young L.D., 1997. *J. Anim. Sci.*, 75, 76-87

Robert-Granié C., Bonaïti B., Boichard D., Barbat A., 1999. *Livest. Prod. Sci.*, 60, 343-357.